

شناسایی خاستگاه مواد محلول آب رودخانه خررود (جنوب استان قزوین) با روش‌های آماری

سعید خدابخش*؛ دانشیار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
بهروز رفیعی؛ دانشیار، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
مینا افشارنیا؛ کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، ایران
شیما کبیری؛ کارشناس ارشد شرکت آب منطقه‌ای قزوین، ایران
رضا اخلاص‌مند؛ معاون برنامه‌ریزی و توسعه مدیریت شرکت آب منطقه‌ای قزوین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۰

چکیده

سیستم‌های رودخانه‌ای یکی از پویاترین عوامل جابه‌جایی و ته‌نشست مواد رسوبی در طول دوره کواترنری است که مواد جامد و محلول حاصل از هوازدهی رخنمون سازندها را به حوضه‌های رسوبی منتقل می‌کند. در این پژوهش تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی آب رودخانه خررود از طریق آزمایش‌های شیمیایی و تحلیل‌های آماری بررسی شده است. حوضه این رودخانه در زون ساختاری ایران مرکزی قرار دارد. ۳۵ نمونه (متمركز در طول ۴۰ کیلومتر از بازه باختری رودخانه)، در دو فصل خشک و تر سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ آزمایش شد. سپس، داده‌های هیدروژئوشیمیایی با استفاده از تکنیک‌های آماری (ماتریس همبستگی، آنالیز خوشه‌ای و نمودار جعبه‌ای) بررسی شد. نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری نشان داد که سولفات کلسیم و کلرید سدیم (با منشأ رسوبات تبخیری) بیشترین نقش را در افزایش نمک‌های محلول آب رودخانه داشته است. در این راستا، نقش سنگ‌های کربناته کمتر است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل آماری، کیفیت آب رودخانه، هیدروژئوشیمی.

مقدمه

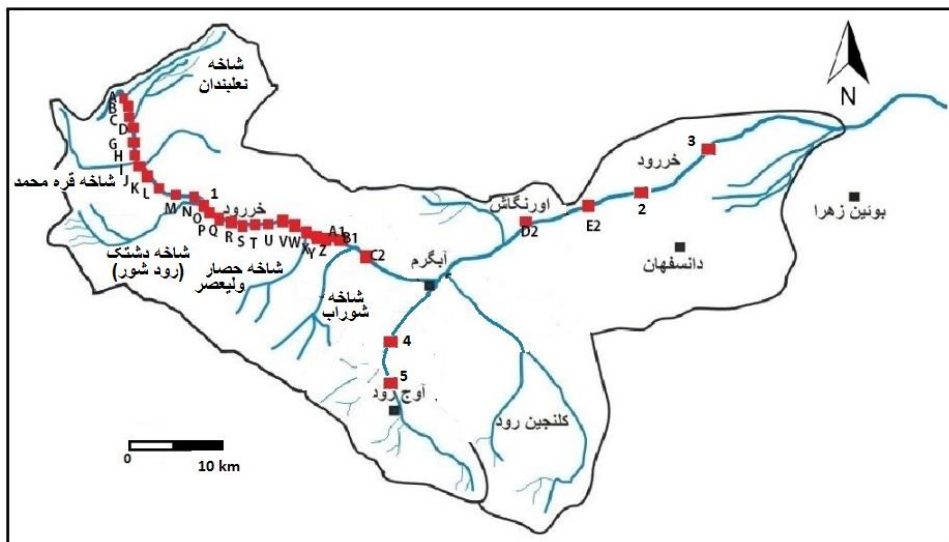
ویژگی‌های کیفی منابع آب وابسته به شدت هوازدهی (از جمله انحلال) و نیز ویژگی‌های سنگ‌شناسی حوضه‌های آبریز است (فیض‌نیا، ۱۳۸۱؛ شمس‌الدوحا و همکاران، ۲۰۰۸؛ جعفری و کلانگی، ۱۳۹۴؛ شهبازی و همکاران، ۱۳۹۵). رودخانه‌ها مهم‌ترین منبع آب‌های سطحی است که از یک‌سو تأمین‌کننده آب شیرین جوامع و از سوی دیگر تغذیه‌کننده سفره‌های آب زیرزمینی است و اهمیت مضاعفی دارد. آب رودخانه‌ها در مسیر خود به علت پیوستن به شاخه‌های جانبی تحت تأثیر سازندهای حوضه آبریز خود قرار می‌گیرد و ویژگی‌های کیفی آن دچار تغییراتی می‌شود. در این رابطه، انحلال کانی‌های کربناته و تبخیری در مقایسه با کانی‌های سیلیکاته نقش بیشتری در شاخص‌های کیفی رودخانه‌ها ایفا می‌کند (روزخس، ۱۳۸۴؛ عبدی و رحیم‌پورناب، ۱۳۸۶؛ مه‌باب قدس، ۱۳۸۹؛ بیهقی‌کندری و همکاران، ۱۳۹۱). حوضه خررود یکی از زیرحوضه‌های رودخانه شور و بخشی از حوضه آبخیز بزرگ دریاچه نمک (حوضه ایران مرکزی) است (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۸۲). وجود نمک‌های محلول زیاد در آب این رودخانه نمایانگر تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر ترکیب شیمیایی آب رودخانه است. علاوه بر آن، آب‌وهوای خشک (شهبازی و فیض‌نیا، ۱۳۹۰) نیز عامل تشدیدکننده افت کیفی آب منطقه شده است. با وجود کیفیت نامناسب آب این رودخانه، مشکل کمبود آب در

منطقه موجب شده است که آب سد نهیب که در مسیر این رودخانه ساخته شده است برای تأمین بخشی از آب مصرفی شهر تاکستان در نظر گرفته شود (شرکت آب منطقه‌ای قزوین، ۱۳۹۵). برای ارزیابی کیفی آب این رودخانه در سطح منطقه‌ای، داده‌های شرکت آب منطقه‌ای ناکافی است، زیرا این داده‌ها منحصر به دو ایستگاه اردلان (منتهی‌الیه باختری حوضه) و آبگرم (بخش میانی حوضه و پیش از سد نهیب) است. برای رفع این مشکل، در این پژوهش به‌جای بررسی کیفی آب رودخانه در دو نقطه (ایستگاه‌های آب‌سنجی شرکت آب منطقه‌ای قزوین)، ترکیب آب این رودخانه در روندی پیوسته در طول یک بازه از رودخانه اندازه‌گیری شد، به‌نحوی که علاوه بر تغییرات تدریجی کیفی آب در طول مسیر رودخانه، اثر ترکیب شاخه‌های فرعی نیز بر آن مشخص شود. تا کنون پژوهشی با این دیدگاه و رویکرد روی این رودخانه انجام نشده است. نتایج این پژوهش (و پژوهش‌های مشابه) در رابطه با الگوی پراکنش واحدهای نمک‌دار و تأثیر آن بر کیفیت آب‌های منطقه، داده‌های مناسبی برای مدیریت پایدار منابع آب فراهم کرده است.

بنابراین، هدف اصلی این پژوهش بر نقش سازندهای زمین‌شناسی بر کاهش کیفیت آب این رودخانه متمرکز شده است. این پژوهش نشان می‌دهد کیفیت آب تمام مسیر رودخانه خرورد یکسان نیست. از این رو، بخش باختری آن که شورتر از سایر مناطق است و شرایط حادثتری دارد برای نمونه‌برداری از آب انتخاب شد. این پژوهش به‌خوبی تأثیر فرایندهای هوازدگی (به‌ویژه انحلال) بر سازندهای با ترکیب سنگ‌شناسی متفاوت را بر بار محلول رودخانه‌ها و رسوبات عهد حاضر نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور شناسایی منشأ مواد محلول موجود در آب رودخانه خرورد، نخست سنگ‌شناسی رخنمون‌های سنگی منطقه بررسی شد. به سازندهای دارای لایه‌های انحلال‌پذیر و تبخیری بیشتر توجه شد و موقعیت و پراکندگی آن‌ها در منطقه مشخص گردید. به‌منظور انجام مطالعه فیزیکی-شیمیایی آب، نمونه‌برداری در دو فصل تر (۲۹ نمونه) و خشک (۵ نمونه) صورت گرفت. ایستگاه‌های نمونه‌برداری به‌طور متوسط حدود ۱ کیلومتر از یکدیگر فاصله داشت (شکل ۱).



شکل ۱. محل برداشت نمونه‌های آب رودخانه (کدهای با حروف A تا Z و عدد به ترتیب مربوط به فروردین و شهریور ۱۳۹۳). نام شاخه‌های فرعی رودخانه روی هر یک نوشته شده است.

نمونه های آب رودخانه از عمق ۱۰ سانتی متری زیرسطح آب و بخش میانی کانال، از بخش غیرراکد و خلاف جهت جریان برداشت و تا زمان انجام آنالیز، نمونه در بطری پلی اتیلن نگهداری شد. آزمایش های فیزیکی-شیمیایی پس از جداسازی فاز جامد معلق (< 2 میکرون) انجام شد. جداسازی به روش ته نشینی، در نمونه های با بار معلق زیاد (خدا بخش و صحرارو، ۱۳۹۲) یا صافی و قیف بوختر (در نمونه های با بار معلق کم) انجام گرفت. یازده شاخص فیزیکی- شیمیایی شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، آنیون های اصلی (کلراید، سولفات، کربنات و بی کربنات) و کاتیون های اصلی (سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم) و مجموع مواد جامد محلول (TDS) برای نمونه های آب تعیین شد. هدایت الکتریکی با دستگاه AZ Conductivimeter 86503، کلراید به روش تیتراکردن با نیترات نقره (معرف تیوسیانات، روش ولهارد؛ اسکوگ و همکاران، ۱۳۸۸)، سولفات به روش وزن سنجی با استفاده از معرف باریم، کربنات و بی کربنات با تیتراکردن اسید و باز، سدیم و پتاسیم به روش رنگ سنجی شعله (Jenway, PFP7 flame photometer) و کلسیم و منیزیم با استفاده از روش تیتراکردن EDTA (اسکوگ و همکاران، ۱۳۸۸) اندازه گیری شد. تمامی این شاخص ها در شرکت راک تعیین شده است. مقدار دمای آب در محل اندازه گیری شده است. پارامترهای مورد بررسی با نرم افزار SPSS (ویرایش ۱۶ برای ویندوز) تحلیل آماری شد. آنالیز تعیین ضرایب همبستگی به منظور بررسی نحوه ارتباط پارامترها با یکدیگر انجام گرفت. این ضریب بر مبنای فرمول همبستگی تعیین می شود و نمایانگر نوع ارتباط (مثبت یا منفی) و میزان ارتباط داده های آماری با یکدیگر است. این ضریب در محدوده $+1$ تا -1 تغییر می کند. آنالیز خوشه ای (CA) در تشخیص گروه های مختلف بر اساس شباهت بین پارامترهای شیمیایی و فیزیکی-شیمیایی نمونه ها انجام گرفت. این آنالیز بر مبنای روش اتصال بین گروه ها (Between-groups linkage) و مقیاس همبستگی پیرسون انجام شد. نمودار جعبه ای برای نمایش نحوه توزیع متغیرها رسم شد. بدین ترتیب، مقادیر کمینه، بیشینه، میانه، چارک اول (صدک ۲۵) و چارک سوم (صدک ۷۵) روی نمودار نمایش داده شد.

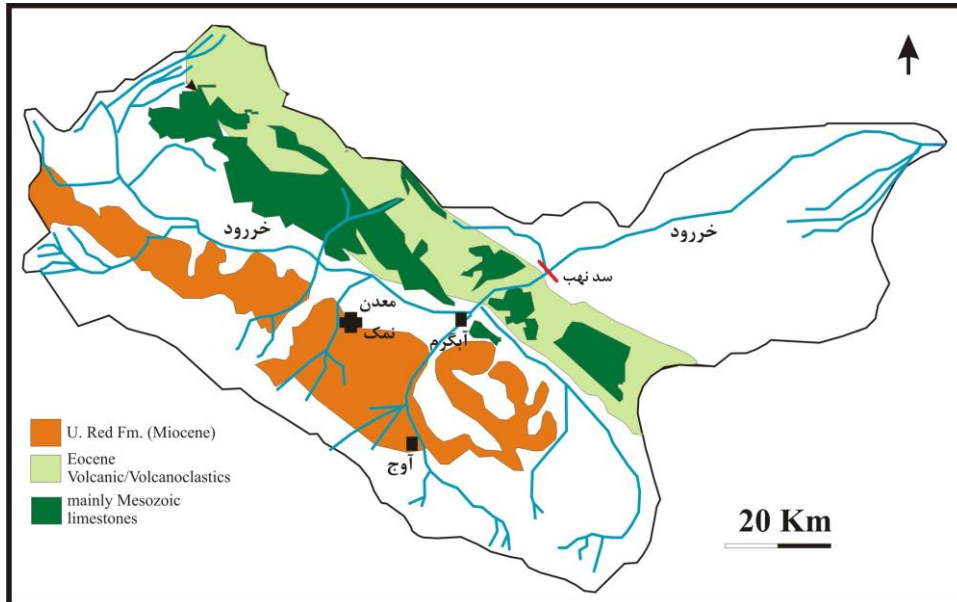
زمین شناسی منطقه

رودخانه خرورد در راستای گسلی با همین نام به سوی خاور جریان دارد. حوضه این رودخانه در باختر زون ایران مرکزی و در مجاورت زون سندانج- سیرجان قرار دارد. این منطقه از دیدگاه تکتونیکی بسیار فعال است. چین خوردگی ها و گسل های منطقه روند شمال باختری- جنوب خاوری دارد (بلورچی، ۱۹۷۸). مهم ترین گسل های اصلی منطقه حسن آباد، خرورد، اوج و ایپک است. حرکات عمودی گسل ها در طول سنوزوییک موجب بالا و پایین رفتن بلوک هایی از منطقه نسبت به یکدیگر شده است (بلورچی، ۱۹۷۸). این حرکات شرایط رسوب گذاری حوضه را کنترل می کرده است. سازندهای ساحل چپ (شمال) رودخانه عمدتاً شامل سازندهای مزوزوییک (سازندهای لار، شمشک، دلیچای و سنگ آهک کرتاسه) و سنوزوییک (سازند قم) می شود (شکل ۲). در ناحیه کوچکی از بخش میانی این قسمت، سازندهای با سن پرکامبرین و پالئوزوییک زیرین نیز دیده می شود. در فاصله دورتری از شمال و شمال باختری منطقه، سنگ های آذرآواری (ائوسن) قرار دارد. سنگ های رخنمون یافته در ساحل راست (جنوبی) عمدتاً متعلق به سازند سرخ روین (با سن میوسن) است. بیشتر لایه های تبخیری (هالیت و ژپس) در این سازند وجود دارد (شکل ۲ و ۳) که نقش مهمی در ترکیب شیمیایی آب رودخانه داشته است.

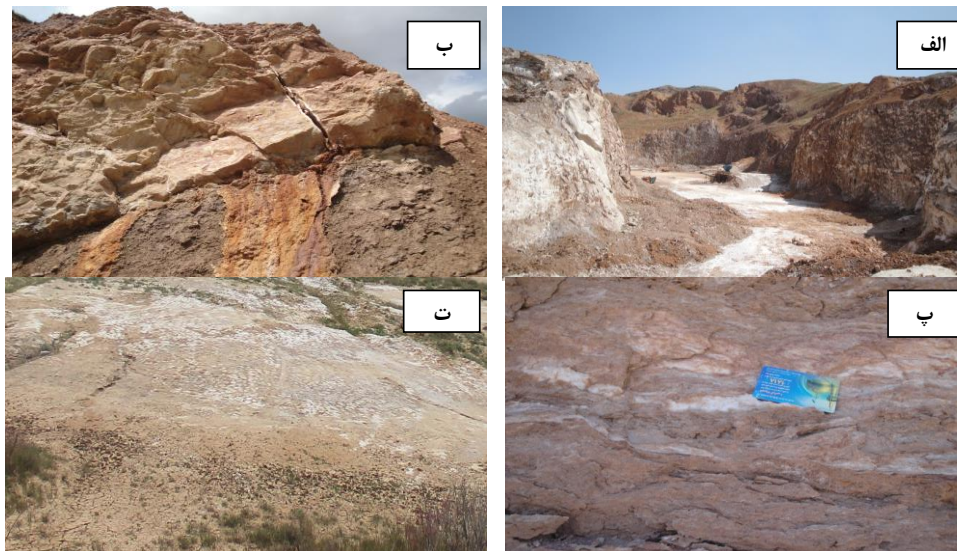
یافته های پژوهش

در این قسمت از مقاله، نخست نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی آب رودخانه، سپس تحلیل آماری و ارتباط این داده ها در بخش بحث ارائه می شود. نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی شامل یازده شاخص شیمیایی اندازه گیری شده در ۲۹ ایستگاه نمونه برداری می شود (جدول ۱ و ۲). نمونه برداری به صورتی در طول رودخانه انجام شده است که اثر ترکیب آب شاخه های فرعی را بر ترکیب کلی آب رودخانه نشان دهد. از ابتدای مسیر رودخانه خرورد شش شاخه فرعی به رودخانه می پیوندد (شکل ۱). ترکیب آب این رودخانه ها با توجه به سنگ شناسی منشأ آن متفاوت است. مطابق جدول ۱ (مربوط به نمونه برداری فروردین)، کمترین مقادیر TDS، سختی و یون های Ca^{2+} و SO_4^{2-} مربوط به نمونه های ابتدای رودخانه (نمونه های A تا C) است. بیشترین مقادیر پارامترهای یاد شده در نمونه های E تا T مشاهده شد که در میانه محدوده مورد مطالعه قرار گرفته است. بیشترین مقادیر یون های $Na+$ و Cl^- نیز در این نمونه ها اندازه گیری شده است.

نمونه برداری انجام شده در شهر یور به طور سیستماتیک انجام نشد و قابل مقایسه با نمونه های بهار نیست. اغلب نمونه های برداشت شده در شهر یور از مناطقی خارج از کانال رودخانه خروود برداشت شده است و املاح زیادی نشان نمی دهد.



شکل ۲. نقشه ساده شده گستره واحدهای سنگی رخنمون یافته در حوضه آبریز خروود (با تغییرات عمده، اقتباس از بلورچی، ۱۹۷۸ و هوبر و افتخارنژاد، ۱۹۷۸). درصد پوشش رخنمون واحدهای سنگی با سن میوسن، مزوزویک و انوسن به ترتیب ۱۹/۹٪، ۱۵/۸٪ و ۱۲/۸٪ است.



شکل ۳. تصاویر میدانی سازند سرخ رویین (مؤثرترین واحد سنگی در شوری منابع آب حوضه خروود): الف) معدن نمک شوراب، ب) تراوش نمک، کربنات و لیمونیت، چشمه اروان، پ) بین لایه و عدسی های ژیبس در گل سنگ، داخرجین، و ت) کفه های گلی-نمکی (اردلان)

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و آمار توصیفی نمونه‌های آب رودخانه خرورد (نمونه‌برداری فروردین ۱۳۹۳، محل نمونه‌ها در شکل ۱)

Sample	EC (ms/cm)	pH	TDS (mg/l)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)
A	۸۳۲	۷/۷۵	۴۵۲/۴	۱۶۰/۲	۲۴۰	۲۶۷/۴	۲۱/۶۸	۲۴۴/۸	۱۲۲۵/۲	۶۲/۸۱	۴/۹۹۱
B	۸۲۸	۷/۵۲	۴۴۸/۸	۱۶۰/۲	۲۲۰	۲۹۶/۲	۲۹۰/۱	۱۶۳/۲	۴۸۴	۵۶/۷۲	۳/۹۲۸
C	۱۵۱۵	۷/۶۶	۸۱۰/۶	۳۰۲/۶	۳۸۰	۱۱۲/۴	۵۳/۷	۲۲/۶۴	۲۰۵/۶	۲۰۵/۶	۹/۹۸۲
D	۱۹۴۱	۷/۸۶	۱۰۲۶/۶	۳۰۲/۶	۳۵۰	۱۱۱/۴	۵۳/۷	۲۲/۶۴	۲۴۴/۲	۲۵۴۵/۳۱	۸/۹۸۲
E	۹۲۱	۷/۹۴	۴۷۶/۴	۶۲/۲	۱۴۰	۵۰۲/۸۵	۹۱/۹	۹۷/۹۲	۲۷۴۱/۲۲	۳۳۶۰/۶۶	۱۹/۹۴۶
G	۱۰۸۸	۸/۱۲	۶۱۳/۲	۸۹۰	۱۲۰	۶۶۹/۵	۱۳۸/۹۴	۱۲۷/۳۹	۱۱۳۲/۵۶	۲۶۰۸/۸۱	۲۶/۹۵۱۴
H	۱۱۴۷	۸/۱۲	۶۲۸/۴	۱۰۳۲/۴	۱۲۲	۹۱۶	۳۰۱/۳	۸۱/۶	۱۶۰۲/۴	۳۹۴۲/۰۴	۲۲/۹۵۵۶
I	۱۱۵۱	۷/۹۵	۶۲۲۰	۹۰۷/۸	۱۴۰	۷۳۲/۸	۱۵۹/۱۳	۱۰۰/۱۸	۳۳۹۵/۸	۳۳۲۹/۳۴	۲۳/۹۵۶۸
J	۱۱۴۸	۷/۸۷	۶۳۷۸	۸۴۵/۴	۱۲۰	۹۸۸/۴۲	۱۴۰/۲	۱۱۰/۹۷	۱۷۶۱/۶	۴۵۳۷/۶	۲۱/۹۶۰۴
K	۱۱۶۳	۷/۹۱	۶۴۰/۲	۹۰۷/۸	۱۲۰	۹۹۷/۰۶	۱۵۵/۱۶	۱۰۰/۷۱	۱۶۲۹/۸	۳۲۸/۵۶	۲۳/۹۵۶۸
L	۱۲۰۴	۸/۰۵	۶۷۵۰	۸۹۰	۱۴۰	۱۱۶۹/۸۹	۱۴۴/۸۹	۱۱۷/۵	۸۵۹۱	۴۸۹/۲۱	۲۴/۹۵۵
M	۱۳۵۹	۸/۳	۹۱۰۰	۹۰۷/۸	۱۲۰	۱۲۶۹/۰۷	۱۲۱/۲۵	۱۶۳/۲	۱۶۲۸/۶	۵۶۰/۱۱	۲۶/۹۵۱۴
N	۱۶۶۷	۸/۳۶	۹۲۱۰	۹۰۷/۸	۱۲۰	۱۴۵۸/۸	۱۴۳/۲۷	۱۲۷/۳۹	۲۰۱۳/۴	۶۶۶/۶	۳۸۱۳۲۲
O	۱۹۳۶	۸/۳۲	۱۲۴۲۰	۱۰۸۵/۸	۱۵۰	۱۲۱۱/۲۷	۱۷۰/۶۶	۱۵۳/۴	۲۲۷۹/۶۴	۶۵۵۸/۲۵	۲۰/۰۸۸
P	۱۸۷۳	۸/۳۸	۱۰۳۳۲	۱۰۸۵/۸	۹۳	۱۱۷۰/۲۲	۱۶۸/۶۷	۱۵۶/۶۷	۲۶۳۵/۸	۴۵۳/۶	۱۹/۰۸۳۶
Q	۱۳/۴	۸/۳۵	۷۴۹۴	۱۰۱۴/۶	۱۴۰	۱۱۱۵/۹۹	۱۵۷/۳۲	۱۴۶/۸۸	۱۷۸۵/۹۶	۱۵۰/۶۶	۱۵۰/۶۶
R	۱۱۵۵	۸/۳۹	۶۴۴۴	۱۱۵۷	۱۷۰	۱۱۱۷/۲۲	۲۰۰/۱۸۴	۱۳۰/۵۶	۳۰۶۵۰/۸۸	۳۷۵/۷۷	۱۵۰/۶۶
S	۱۱۳۹	۸/۵۹	۶۳۶۶	۱۲۱۰/۴	۱۵۰	۷۹۲/۱۴	۲۲۶/۷۱	۱۱۰/۹۷	۳۱۷۵/۰۴	۳۷۲۲/۲۵	۱۹/۰۸۳۶
T	۱۱۲۹	۸/۵۹	۶۳۳۶	۱۱۲۱/۴	۶۰	۴۸۱/۶	۲۰۹/۰۵	۱۰۰/۴۴	۲۸۹۸/۰۸	۱۰۶۳/۵	۱۴/۰۶۱۶
U	۴۰۷	۷/۹	۳۳۵۲	۷۸۳/۲	۳۲۰	۲۴۰/۷۳	۱۵۴/۴۳	۵۸/۷۵	۵۴۰/۳۲	۱۰۶۳/۵	۱۲/۰۵۲۸
V	۴۲۲	۷/۸۷	۳۴۴۲	۷۶۷/۶	۳۲۰	۲۰۱/۲۲	۱۴۲/۰۱	۶۵/۲۸	۱۰۷۵/۲۸	۱۲۶/۲	۱۲/۰۵۲۸
W	۴۳	۷/۹۳	۳۵۲۲	۷۱۲	۳۵۰	۲۹۴/۲۲	۱۵۵/۴۳	۷۸/۳۲	۴۲۳۲/۰۹۶	۱۲۰/۵۳	۱۲/۰۵۲۸
X	۴۵۲	۷/۹۸	۳۶۲۲	۸۰۱	۳۲۰	۴۲۲/۴۸	۱۵۱/۰۲	۷۱/۸	۳۹۷۰/۹۱۱	۱۲۰/۵۳	۱۲/۰۵۲۸
Y	۴۵۶	۸/۰۶	۳۶۶۴	۷۲۹/۸	۲۹۰	۴۳۲/۴۸	۱۳۱/۷۴	۷۵/۰۶	۴۶۳۳/۹۹	۱۲۶/۲	۹/۰۶۱
Z	۴۹	۸/۰۵	۳۷۶۶	۷۶۷/۶	۳۵۰	۴۶۴/۹۹	۱۴۵/۹۸	۵۸/۷۵	۲۱۷۸/۵۱۹	۱۲۶/۲	۹/۰۶۱
AI	۴/۹	۸/۱۴	۲۸۲۶	۷۲۹/۸	۳۰۰	۴۳۷/۰۱	۱۲۱/۸۲	۹۱/۳۹	۱۰۲۴/۹۰۵	۷۰۹	۹/۲۳۶۵
B1	۵۱	۸/۱۳	۳۹۱۶	۷۲۹/۸	۲۹۰	۴۵۵/۹۴	۱۳۵/۷	۶۸/۵۴	۱۱۳۹/۳۱۳	۲۸۲/۶	۱۶۴/۰۸
B2	۱۲/۲۷	۸/۱	۸۱۱/۲	۱۷۸	۳۲۰	۹۲/۱۷	۲۲/۲۳	۲۲/۶۴	۳۶۶/۶۶	۲۱/۷	۴/۱۰۲
C2	۱۳/۸	۷/۹۲	۸۴۵/۴	۱۹۵/۸	۲۴۰	۴۴۴/۴	۱/۹۸	۷۵/۰۶	۹۷۹/۵۰۶	۲۸۲/۶	۳۶۹/۸۸
Min	۴۰/۷	۷/۵۲	۴۴۸/۸	۱۶۰/۴۰	۶۰/۰۰	۳۳۴/۵	۱/۹۸	۱۶/۳۲	۵۴/۰۲	۵۶/۷۲	۳/۹۹
Max	۱۹/۴۱	۸/۵۹	۱۲۴۲۰/۰۰	۱۲۱۰/۴۰	۳۸۰/۰۰	۱۴۵۸/۰۰	۲۲۶/۷۱	۱۶۲/۲۰	۳۷۴۳/۲۰	۶۶۶/۶۰	۳۶۹/۸۸
Mean	۱۰/۶۹	۸/۰۷	۴۶۷۰/۵۹	۷۵۴/۳۵	۲۱۱/۹۰	۵۹۵/۷۰	۱۲۸/۳۵	۹۰/۴۶	۱۰۲۰/۸۷۷	۲۵۹/۹۶	۳۷/۳۸
SD*	۴/۷۵	۰/۱۲۶	۳۱۹۷/۰۱	۳۱۵/۸۳	۹۷/۷۱	۴۴۵/۳	۵۸/۶۱	۴۰/۹۳	۱۰۰۳۰/۹۴	۲۰۴/۵۸	۷۹/۹۹

* SD = انحراف استاندارد

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی و آمار توصیفی نمونه‌های آب رودخانه خروود (نمونه‌برداری، شهریور ۱۳۹۳، محل نمونه‌ها در شکل ۱)

محل نمونه‌برداری	EC (ms/cm)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	TDS (mg/l)	pH
۱	۷/۰۶	۱۹۳/۳۴	۱۲/۵۷	۱۹۵۵/۲	۱۹۵	۸۴	۱۱۱۲	۰/۵	۳۹۶/۵	۳۷۰۲	۷/۶۱
۲	۲/۴۲	۱۶۲/۴۲	۲۶/۱۱	۶۷/۳۵	۱۸۹	۸۹/۹	۱۸۶/۷	<۰/۰۱	۳۸۴/۳	۱۲۹۶	۷/۵۸
۳	۲/۲۹	۶۷/۱۰۱	۳۲/۶۴	۱۸/۳۱	۱۵۹	۹۵/۳	۱۲۹	۰/۱	۳۳۲/۳	۱۳۴۸	۷/۷۶
۴	۳/۱۷	۷۰/۵۱	۴۷/۳۲	۵۷۷/۸۳	۳۶۰	۴۱/۹	۴۹۳/۲	۰/۳۵	۷۳۲	۱۷۱۶	۷/۶۹
۵	۹/۱۲	۸۵/۹۲	۱۳-۱۵۶	۲۶۹۴/۲	۵۱۰	۱۴۸	۱۹۶۸	۱/۸۶	۱۰۳۷	۴۶۸۶	۷/۶
Min	۲/۲۹	۷۰/۵۱	۱۲/۵۷	۱۸/۳۱	۱۵۹	۴۱/۹	۱۲۹/۰	۰/۱۰	۳۳۲/۳	۱۳۴۸	۷/۵۸
Max	۹/۱۲	۱۹۳/۳۴	۳۲-۱۵۶	۲۶۹۴/۲۰	۵۱۰	۱۴۸/۰	۱۹۶۸/۰	۱/۸۶	۱۰۳۷/۰	۴۶۸۶	۷/۷۶
Mean	۴/۸۱	۱۲۲/۷۵	۴۹/۸۴	۱۰۶۸/۵۸	۲۸۲/۶	۹۱/۸	۷۷/۱۸	۰/۷۰	۵۷۴/۶	۲۵۲۹/۶	۷/۶۵
SD*	۳/۱۰	۵۲/۶۱	۲۶/۸۲	۱۲۰۷/۱۹	۱۳۹/۵۱	۳۷/۸۳	۷۷/۳۰	۰/۷۵	۳۰۴/۰	۱۵۶۹/۳۰	۰/۰۸

* SD = انحراف استاندارد

همچنین، تغییرات مقادیر بی کربنات در امتداد رودخانه خررود جالب توجه است. در نمونه‌های نخست (A تا D) و انتهای مسیر (U تا C2) میزان آنیون بی کربنات در آب رودخانه زیاد است، در حالی که در همین بازه میزان یون‌های Ca^{2+} و SO_4^{2-} کاهش می‌یابد (شکل ۴).

واحدهای سنگی با منشأ مواد محلول رودخانه خررود، از نظر وسعت رخنمون در حوضه آبریز است و نوع لیتولوژی آن به سه رده تقسیم می‌شود:

۱. سازند سرخ رویین (این سازند با نام مارن‌های نتوژن نیز شناخته می‌شود که دربرگیرنده لایه‌های تبخیری در منطقه است و نقش زیادی در افزایش مواد محلول منابع آب و افت کیفی آن در حوضه آبریز ایران مرکزی داشته است (شهبازی و فیض‌نیا، ۱۳۹۰).)

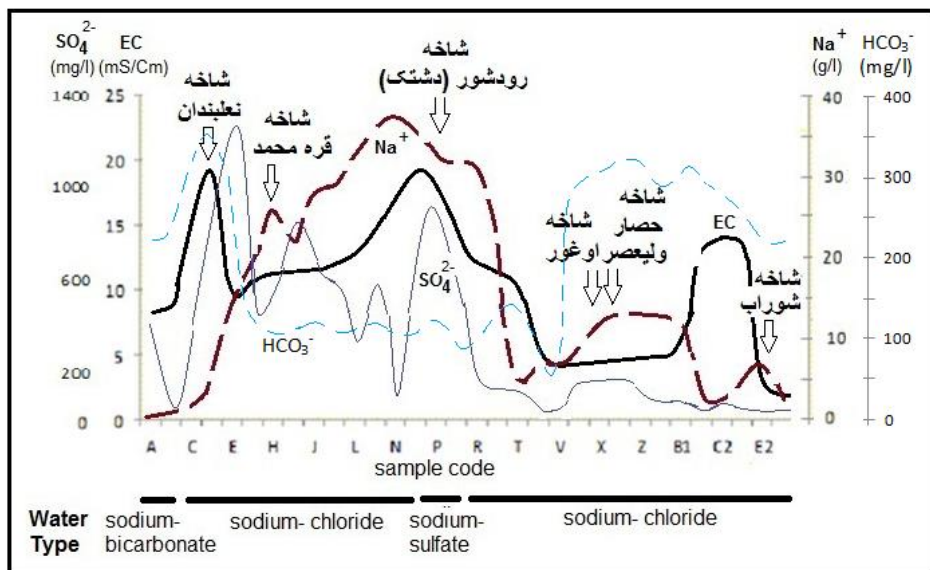
۲. مجموعه‌ای از واحدهای آواری-کربناته (با محدوده سنی پرکامبرین، مزوزویک و سنوزویک)، و

۳. واحدهای آذرآواری (اتوسن).

شاخه‌های فرعی که از رخنمون این واحدها عبور می‌کند بار محلول خود را به شاخه اصلی (رودخانه خررود) وارد می‌کند. محل پیوستن این شاخه‌ها در شکل ۱ مشخص شده است. شاخه نعلبندان از سازندهای با ترکیب کربناته و شاخه‌های دیگر از سازند سرخ رویین منشأ گرفته است. مواد محلول موجود در شاخه‌های فرعی، پس از پیوستن به رودخانه خررود بر ترکیب شیمیایی آن تأثیر گذاشته است (شکل ۴).

نتایج نشان می‌دهد که یون‌های کلر و سدیم بیش از ۹۰٪ مواد محلول رودخانه خررود را تشکیل می‌دهد. بیشترین تغییرات هیدروژوشیمیایی در غرب منطقه (بخش جلگه‌ای و کم‌شیب) رودخانه رخ داده است و متمایزترین آن‌ها در تغییرات میزان هدایت الکتریکی و یون‌های سولفات و سدیم دیده می‌شود که به شرح زیر است:

۱. افزایش ناگهانی میزان هدایت الکتریکی در محل پیوستن شاخه‌های نعلبندان، رود شور و شوراب دیده می‌شود. بیشترین مقدار این شاخص در غرب منطقه (نمونه‌های C تا T) وجود دارد (جدول ۱). این شاخص روندی کاهشی به سوی پایین دست دارد.



شکل ۴. نمودار تغییرات هدایت الکتریکی (EC)، غلظت یون‌ها و تیپ آب در طول رودخانه خررود (محل پیوستن شاخه‌های فرعی به رودخانه با پیکان نشان داده شده است).

۲. افزایش ناگهانی میزان یون سولفات در محل پیوستن شاخه‌های با آب شور قره‌محمد (با کمی فاصله) و رود شور دیده می‌شود. بیشترین مقدار این شاخص در غرب منطقه (نمونه‌های E تا R) وجود دارد (جدول ۱).
۳. افزایش ناگهانی میزان یون سدیم در محل پیوستن تمام شاخه‌های جنوبی با آب شور (قره‌محمد، رود شور، حصارولیعصر و شوراب) دیده می‌شود. بیشترین مقدار این شاخص در غرب منطقه (نمونه‌های E تا T) وجود دارد.
۴. تیپ آب در نمونه‌های A و B سدیم-بی کربنات، در نمونه‌های C تا O و نیز R تا سد نهب (E2) سدیم کلراید، و در نمونه‌های P و Q سدیم-سولفات است (شکل ۴).

بحث

در بخش پیشین، اثر مواد محلول با منشأ طبیعی (سازندهای زمین‌شناسی حوضه آبریز) بر ویژگی‌های کیفی آب رودخانه خررود معرفی شد. این مواد حاصل انحلال سنگ‌های رخنمون‌یافته سطحی است که با مجاری شبکه هیدروگرافی به شاخه اصلی رودخانه منتقل شده است. موضوع اصلی در شناخت منشأ مواد محلول آب رودخانه، وجود منابع متعدد برای یک یا چند یون مشترک است. برای مثال، ممکن است یون Ca^{2+} از یک سو از سازندهای با ترکیب کربناته و از سوی دیگر از لایه‌های تبخیری (سولفات به صورت ژپس) منشأ گرفته باشد. باتوجه به اینکه در هر حوضه آبریز تیپ‌های آب مختلف و در هر تیپ چندین یون (به ترتیب فراوانی) وجود دارد، اهمیت این موضوع روشن‌تر می‌شود. بررسی جدول ۱ نشان می‌دهد که ترکیب یون‌ها در آب رودخانه خررود به ترتیب فراوانی عبارت است از: $Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+} > K^+$ و $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$.

یکی از راه‌های بررسی ارتباط این یون‌ها در رابطه با منشأ، آزمون‌های آماری است. این گونه روش‌ها کاربرد زیادی در بررسی‌های هیدروژئوشیمیایی دارد. هدف مهم از بررسی‌های آماری، استفاده از تعداد محدودی داده‌های زمین‌شناسی برای فهم و شناخت پدیده‌ها و مجموعه‌های بسیار بزرگ‌تر است. روش‌های آماری گوناگونی برای شناخت میزان ارتباط (به صورت کمی و کیفی) عوامل به کار می‌رود. از جمله روش‌های پرکاربرد در مسائل زمین‌شناسی و منابع آب، استفاده از تحلیل‌های آماری همچون تعیین ضریب همبستگی، آمار توصیفی، تحلیل عاملی و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای است که در مطالعات محیط‌زیستی، به‌ویژه در شناخت منشأ آلودگی نیز به آن توجه شده است (چرخابی و ساکی‌زاده، ۲۰۰۶؛ حاج‌علیلو و خالقی، ۲۰۰۹؛ ادت و همکاران، ۲۰۱۱؛ اوگون‌ریبدو و کهنند-فیلیس، ۲۰۱۱). در پژوهش‌های دیگری از روش فازی (کامرانی و رضایی، ۱۳۹۴) و نیز از روش‌های آماری چند متغیره در ارزیابی کیفی منابع آب استفاده شده است (حسینی‌زارع و همکاران، ۱۳۹۴؛ ژو و همکاران، ۲۰۰۷؛ ژاو و کویی، ۲۰۰۹؛ سهیلا و حسین، ۲۰۱۲). در این پژوهش، از بررسی نتایج آنالیزهای شیمیایی آب رودخانه از دیدگاه آماری سعی در شناخت نقش سازندهای زمین‌شناسی در تولید بار محلول رودخانه شده است.

جدول ۳ ضرایب همبستگی پارامترهای فیزیکی-شیمیایی را در نمونه‌های آب رودخانه خررود نشان می‌دهد. ارتباط مثبت، قوی و معناداری بین TDS و میزان غلظت یون‌های سولفات، کلسیم، کلر، منیزیم و سدیم، و ارتباط قوی و منفی با میزان یون بی کربنات محلول در آب دیده می‌شود. بنابراین، نمک‌های محلول در آب این رودخانه عمدتاً شامل سولفات کلسیم و کلرید سدیم است و کربنات‌ها در افزایش میزان نمک‌های محلول در آب رودخانه نقش قابل‌ملاحظه‌ای ندارد. هدایت الکتریکی آب (EC) نیز متأثر از کانی‌های ژپس (سولفات کلسیم) و هالیت (کلرید سدیم) است. یون پتاسیم با سایر یون‌ها هیچ ارتباطی نشان نمی‌دهد که بیانگر منشأ جداگانه‌ای برای آن است.

به‌منظور گروه‌بندی داده‌ها، از آنالیز خوشه‌ای^۱ استفاده شد. آنالیز خوشه‌ای در راستای درک وابستگی شاخص‌های مختلف به یکدیگر، و شباهت و نوع این ارتباط‌ها انجام می‌گیرد. در این آنالیز می‌توان تمام یا بخشی از متغیرها را به کار گرفت که همان پارامترهای اندازه‌گیری شده است؛ به این صورت که داده‌هایی که اختلاف آن با یکدیگر کم باشد، نزدیک به هم قرار می‌گیرد و داده‌هایی که دورتر باشد، نشان‌دهنده اختلاف زیادی در مجموع پارامترهاست. شباهت در

1. cluster analysis

این دیدگاه آماری به مفهوم منشأ هیدروژئوشیمیایی یکسان است.

جدول ۳. ضرایب همبستگی نه شاخص هیدروژئوشیمیایی اندازه‌گیری شده در محدوده مطالعه

	TDS	EC	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	K ⁺
TDS	۱								
EC	۰/۵۲۳**	۱							
HCO ₃	-۰/۷۶۹**	-۰/۴۹۸**	۱						
SO ₄	۰/۸۸۶**	۰/۴۱۶*	-۰/۶۴۸**	۱					
Mg	۰/۶۷۷**	-۰/۰۵۹	-۰/۴۱۷*	۰/۵۹۹**	۱				
Ca	۰/۹۱۷**	۰/۴۰۳*	۰/۷۱۷**	-۰/۸۶۶**	۰/۶۳۰**	۱			
Na	۰/۴۳۴*	۰/۵۲۰**	-۰/۴۰۱*	۰/۳۵۹	-۰/۰۳۳	۰/۳۵۵	۱		
Cl	۰/۹۰۳**	۰/۵۹۱**	-۰/۶۹۳**	۰/۹۱۶**	۰/۵۱۷**	۰/۸۲۳**	-۰/۵۱۱**	۱	
K	-۰/۲۲۳	۰/۰۲۶	۰/۰۸۲	-۰/۲۰۱	-۰/۳۶۱	-۰/۰۵۵	-۰/۲۴۸	-۰/۲۶۳	۱

** سطح معناداری ضریب همبستگی ۱٪ است (دوطرفه).

* سطح معناداری ضریب همبستگی ۵٪ است (دوطرفه).

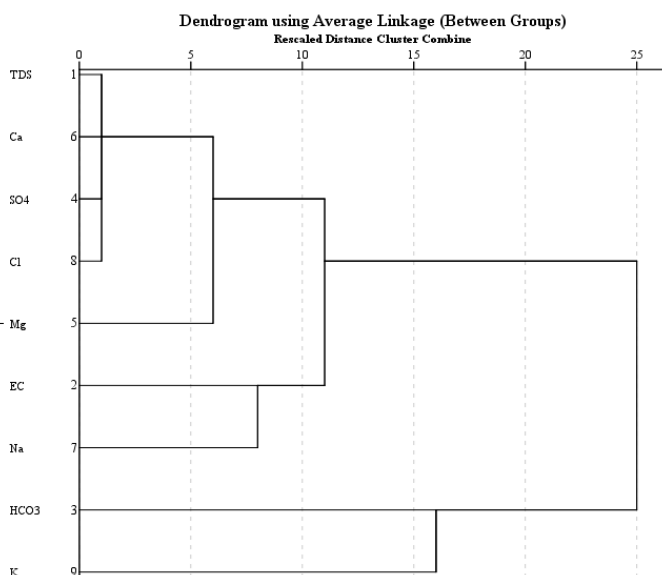
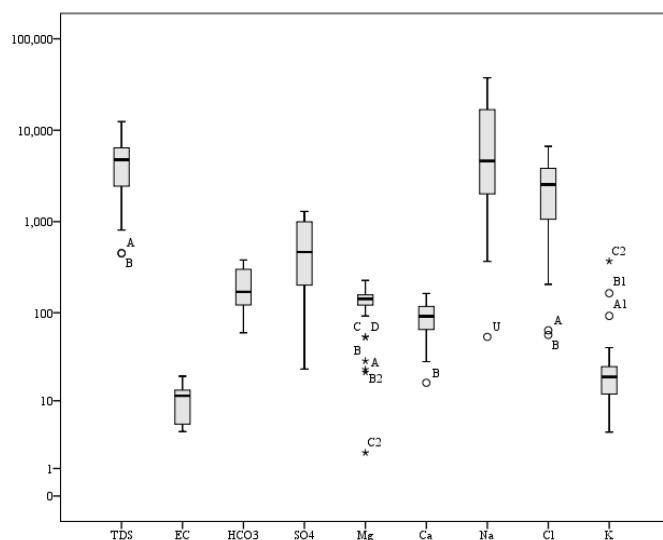
نمودار آنالیز خوشه‌ای بین آنیون‌ها، کاتیون‌ها، EC و TDS نمونه‌های آب رودخانه خررود در شکل ۵ نمایش داده شده است. در این نمودار دو خوشه کاملاً متفاوت مشاهده می‌شود. خوشه نخست، متشکل از TDS و یون‌های SO₄²⁻، Cl⁻، Ca²⁺، Mg²⁺ و Na⁺، همچنین EC است. خوشه دوم، شامل یون‌های HCO₃⁻ و K⁺ می‌شود. در خوشه نخست یون‌های SO₄²⁻، Cl⁻، Ca²⁺ و TDS ارتباط قوی با یکدیگر دارد و ارتباط آن با EC و یون‌های Mg²⁺ و Na⁺ کمتر است. با توجه به اینکه تیپ آب رودخانه از نوع سولفات و کلریدی است، همچنین نمک‌های ژپس و هالیت به‌صورت گسترده در سازند سرخ روین گسترش دارد، ارتباط ضعیف یون Na⁺ با یون‌های SO₄²⁻، Cl⁻ و Ca²⁺ غیرمنتظره است. احتمال دارد ورود یون Na⁺ از منشأی دیگر (احتمالاً واحدهای آذرآواری با سن ائوسن) سبب ایجاد چنین حالتی شده باشد. یون Na⁺ ممکن است از هیدرولیز فلدسپات‌های این واحد سنگی تأمین شده باشد. همچنین، خوشه نخست ممکن است تأییدکننده نقش یون‌های SO₄²⁻، Cl⁻ و Ca²⁺ در میزان TDS باشد. همچنین، قابلیت هدایت الکتریکی آب بیشتر ناشی از یون Na⁺ (هالیت) است. بدین ترتیب، می‌توان بیان کرد که خوشه نخست نشان‌دهنده یون‌هایی با منشأ رسوبات تبخیری در منطقه است.

در خوشه دوم، دو یون HCO₃⁻ و K⁺ قرار دارد که ارتباط ضعیفی بین آن‌ها برقرار است. با توجه به عدم همبستگی یون K⁺ با سایر یون‌ها، به‌نظر می‌رسد منشأ آن با سایر یون‌ها و نمک‌ها یکسان نباشد. برای بررسی و تعیین منشأ این یون داده‌های بیشتری مورد نیاز است. وجود یون HCO₃⁻ در این خوشه نیز نشان‌دهنده منشأی متفاوت با سایر یون‌های خوشه نخست است. سازندهای کربناته دارای رخنمون در منطقه و رسوبات کربناتی موجود سازند قرمز فوقانی ممکن است منشأ این آنیون باشد. یون‌های موجود در این خوشه تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در TDS و EC آب رودخانه ندارد. به‌منظور تعیین نحوه توزیع یون‌های محلول در آب رودخانه خررود، نموداری جعبه‌ای برای آن ترسیم شد (شکل ۵). بازه تغییرات یون‌های سدیم و سولفات در بین یون‌ها نسبتاً زیاد است. این مورد برای یون Mg²⁺ کمترین مقدار است. بازه زیاد تغییرات یون‌ها در امتداد بخش مورد مطالعه رودخانه خررود بیانگر تغییر زیاد غلظت این یون‌ها در طول مسیر است. علت این نوسانات ورود این یون‌ها از مناطق مختلف به رودخانه (شکل ۳) و رقیق‌شدگی در برخی نقاط دیگر به‌علت ورود آب‌های دارای املاح کمتر (برای مثال، شاخه منصورباغ) است. ورود شاخه‌های فرعی دارای یون‌های SO₄²⁻ و Na⁺ در مناطق مختلف و نیز ورود شاخه‌های دارای آب شیرین‌تر یا جریان پایه (چشمه‌های موجود در بستر رودخانه) عامل این تغییرات است.

نتیجه‌گیری

رودخانه خررود در امتداد مسیر خود دچار تغییرات زیادی در میزان شوری و نمک‌های محلول می‌شود. با توجه به انواع

نمک‌های موجود در آب، خررود را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد. بخش نخست از مسیر مورد مطالعه دارای TDS و سختی کمی است. بخش میانی دارای مقادیر بالای آنیون‌ها و کاتیون‌ها، TDS و سختی زیاد است. در بخش پایانی، بار دیگر مقادیر یادشده کاهش می‌یابد. ورود شاخه‌های فرعی به رودخانه و نیز وجود جریان پایه در امتداد مسیر خررود عامل ایجاد این تغییرات است. ورود شاخه‌های فرعی که از رخنمون‌های سازند سرخ رویین عبور کرده است، به بخش‌های میانی رودخانه سبب افزایش املاح و سختی شده است. در بخش‌های انتهایی نیز ورود جریان پایه به رودخانه سبب رقیق شدن آب خررود و کاهش میزان املاح شده است.



شکل ۵. بالا) نمودار خوشه‌ای که دو شاخه کاملاً مجزا را نشان می‌دهد. پایین) نمودار جعبه‌ای که دامنه تغییرات پارامترهای یادشده را نمایش می‌دهد. یون‌های سدیم و سولفات بیشترین تغییرات و منیزیم کمترین تغییرات را نشان می‌دهد.

تغییرات مقادیر یون بی‌کربنات موجود در آب رودخانه نیز قابل ملاحظه است و ارتباط منفی با مقادیر یون‌های SO_4^{2-} ، Cl^- ، Ca^{2+} و Na^+ نشان می‌دهد. افزایش میزان یون HCO_3^- هم‌زمان با ورود جریان پایه به رودخانه نشان می‌دهد که ترکیب آب سطحی و زیرزمینی در منطقه متفاوت است. آب زیرزمینی بیشتر از نوع بی‌کربناته است و سایر نمک‌ها به میزان کمتری در آن وجود دارد.

به‌طور کلی، با توجه به شیمی آب رودخانه خررود، سه تیپ سدیمی-کلریدی، سدیمی-بی‌کربناته و کلروره-سولفات قابل مشاهده است. ورود شاخه‌های فرعی با ترکیب شیمیایی متفاوت به رودخانه خررود موجب افزایش نمک‌های محلول در آب این رودخانه شده است. داده‌های آماری نیز نشان می‌دهد که سازندهای با منشأ تبخیری بسیار بیش از سازندهای کربناته در تولید بار محلول آب این رودخانه نقش داشته است. حضور TDS، یون‌های SO_4^{2-} ، Cl^- و Ca^{2+} در یک خوشه در آنالیز CA نشان‌دهنده تأثیر یون‌های نام‌برده در مقدار کل املاح محلول است. معادن و رخنمون‌های ژپس و هالیت موجود در سازند سرخ رویین منشأ این یون‌هاست. بدین ترتیب، نقش سازند سرخ رویین در تغییر شیمی آب رودخانه کاملاً مشخص و بخشی از آب رودخانه خررود را تحت تأثیر قرار داده است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مدیرعامل محترم و کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای قزوین به دلیل تأمین منابع مالی و راهنمایی‌های تخصصی و علمی، داوران محترم این مقاله به دلیل داوری منتقدانه و دقیق و نیز از آقای مهندس مقیمی، کارشناس ارشد شرکت آب منطقه‌ای قزوین، به دلیل کمک در عملیات میدانی تشکر و قدردانی می‌کنیم. از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا به دلیل تأمین منابع مالی و در اختیار قراردادن اتومبیل برای نمونه‌برداری سپاسگزاریم.

منابع

- اسکوگ، د.ا، وست، د.م، هولار، ج. و کروچ، س.ر. (۱۳۸۸). مبانی شیمی تجزیه. ترجمه ع. سلاجقه، و. توسلی و ه. خلیلی، مرکز نشر دانشگاهی.
- بیهقی‌کندری، ع.، حیدری‌زاده، م.، عبدالمی‌منصورخانی، م.، زاهدی‌خامنه، ح. (۱۳۹۱). بررسی ارتباط ژئوشیمیایی بین لیتولوژی حوضه آبریز کارستی سد کاره و آب رودخانه کاره (شمال‌شهر مشهد). سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حسینی‌زارع، ن.، شاهین‌زاده، ن.، حسینی‌زاده، ه. و گلابی، م. (۱۳۹۴). بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره. دهمین سمینار مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- جعفری، ه.، کلانگی، م. (۱۳۹۴). آب زمین‌شیمی آبخوان شاهرود و بررسی عوامل کنترل‌کننده نیترات. زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۱۶: ۶۳-۷۴.
- خدابخش، س. و صحراره، ن. (۱۳۹۲). آزمایش‌های رسوب‌شناسی. انتشارات دانشگاه بوعلی‌سینا.
- روزخش، پ. (۱۳۸۴). بررسی آلاینده‌های زمین‌شناختی زیرحوضه‌های رودخانه قم و قره‌چای (دریاچه نمک). چهارمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۸۲). فرهنگ جغرافیایی رودهای کشور. ج ۳. حوضه آبریز ایران مرکزی. شرکت آب منطقه‌ای قزوین (۱۳۹۵). وبگاه رسمی: www.qzrw.ir.
- شهبازی، ح.، طاهری‌تیزرو، ع.، افسرده، ز. (۱۳۹۵). تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های کیفی آبخوان دشت دهلران، استان ایلام بر اساس سازندهای سنگ‌های رسوبی. رسوب‌شناسی کاربردی، ۷: ۶۶-۷۱.
- شهبازی، ر. و فیض‌نیا، س. (۱۳۹۰). تأثیر سازندهای زمین‌شناسی بر کاهش کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در حوضه آبخیز کویر مرکزی ایران. پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۱: ۹۳-۱۰۴.
- عبدی، ل. و رحیم‌پور بناب، ح. (۱۳۸۹). منشأ هیدروژئوشیمی و نحوه تکامل شورابه در پلایای میقان اراک. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۱: ۲۵-۴۲.
- فیض‌نیا، س. (۱۳۸۱). بررسی علل زمین‌شناسی بیابانی‌شدن غرب حوضه مرکزی. انتشارات مؤسسه جنگل‌ها و مراتع.
- کامرانی، ص. و رضایی، م. (۱۳۹۴). ارزیابی کیفی آب زیرزمینی در دشت لجنات با روش فازی تاسماگی-سوگو. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۱۶: ۲۴-۳۲.
- مهذب قدس (۱۳۸۹). طرح بررسی و نقشه‌برداری عوامل شورکننده دریاچه سد شهریار: شورکننده‌های سولفات و کلریدی. مجری طرح، بهزاد

زمانه قره چمنی.

- Abdi, L. and Rahimpour Bonab, H. (2010) Origin, hydrogeochemistry and evolution of Meighan Playa brine, Arak province. *Stratigraphy and sedimentology Researches*, 1: 25-42. [in Persian]
- Beyhaghi Kondori, A., Heydarzadeh, M., Abdollahi Mansurkhani, M. and Zahedi Khamene, H. (2012). The study of geochemical relationship between lithology of the Karstic basin of Kardeh Dam and Kardeh river water (N Mashhad city). 31th Earth Sciences Conference, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran. [in Persian]
- Bolourchi, M.H. (1978). Geological map of Avaj, scale: 1/100000, Geological and Mineral Survey of Iran, sheet: 5861.
- Carver, R.E. (1971). *Procedures in sedimentary petrology*, J. Wiley & Sons, Canada.
- Charkhabi, A.H. and Sakizadeh, M. (2006). Assessment of spatial variation of water quality parameters in the most polluted branch of the Anzali Wetland, Northern Iran. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(3): 395-403.
- Edet, A., Nganje, T.N., Ukpong, A.J. and Ekwere, A.S. (2011). Groundwater chemistry and quality of Nigeria: A status review. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(13): 1152-1169.
- Feiz-Nia, S. (2002). Study of the causes of desertation in the west the Central Basin. Institute of Forest and Rangeland Publications. [in Persian]
- Ghadimi Aroos-Mahale, F. and Amin Sobhani, A. (1999). Study of sediment yield in geological zones and periods in the Namak-lake basin. 1th National Conference on Engineering Geology and the Environment, Tarbiat Moalem University, Tehran. [in Persian]
- Hajalilou, B. and Khaleghi, F. (2009). Investigation of hydrogeochemical factors and groundwater quality assessment in Marand municipality, northwest of Iran: A multivariate statistical approach. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 7 (3&4): 930-937.
- Hosseini Zare, N., Shahinzadeh, N., Hassounzadeh, H. and Golabi, M. (2015). The study of spatial and temporal variation of water quality of Karoon River using multivariate statistical methods. 10th River Engineering Conference, Shahid Chamran University, Ahvaz. [in Persian]
- Huber, H. and Eftekhari-Nejad, J. (1978). Geological map of Iran, Sheet No. 1, NW Iran, National Iranian Oil Company.
- Jafari, H. and Kalalangi, M. (2016). Hydrogeochemistry of the Shahrood aquifer and study of nitrate controlling factors. *Advanced Applied Geology Journal*, 6(19): 63-74. [in Persian]
- Kamrani, S. and Rezaei, M. (2015). Groundwater quality evaluation in Lenjanat Plain using the Tasmagy-Sugno fuzzy method. *Advanced Applied Geology Journal*, 16: 24-32. [in Persian]
- Khodabakhsh, S. and Sahraoui, N. (2013). Analysis of sedimentology, Bu-Ali Sina University Publ. [in Persian]
- Mahab Ghodss (2010). The research project report of: The study and mapping of the controlling factors of salinity (sulfate and chloride) of Shahryar Dam lake, Supervisor: Behzad Zamaneh Ghareh Chamani. [in Persian]
- National Geography Organization of Iran (2003). Geographic glossary of Iranian rivers. Vol. 3, The central Iran basin. [in Persian]
- Ogunribido, T.H.T. and Kehinde-Philips, O.O. (2011). Multivariate statistical analysis for the assessment of hydrogeochemistry of groundwater in Agbabu Area, S.W. Nigeria. *Proceedings of the Environmental Management Conference, Federal University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria*: 425-435.
- Qazvin Regional Water Authority (2016). Website: www.qzrw.ir.
- Roorkhash, P. (2005) The study of geological pollutants of Qom and Qarachay river subbasins (Namak Lake). 4th Iranian Conference of Engineering Geology and the Environment, Tarbiat Modarres University, Tehran. [in Persian]
- Shahbazi, H., Taheri Tizro, A. and Afsordeh, Z. (2016). Spatial and temporal variability of quality parameters of the Dehloran plain groundwater, Ilam, based on sedimentary rocks formations. *Applied Sedimentology*, 7: 64-82. [in Persian].
- Shahbazi, R. and Feiz-Nia, S. (2011). Geological effects on degradation of surface water and groundwater quality In central drainage basin of Iran. *Environmental Erosion Research*, 1: 93-104. [in Persian]
- Shamsudduha, M., Uddin, A., Saunders, J.A. and Lee, M.K. (2008). Quaternary stratigraphy, sediment characteristics and geochemistry of arsenic-contaminated alluvial aquifers in the Ganges-Brahmaputra floodplain in central Bangladesh. *J. Contaminant Hydrology*, 99: 112-136.
- Skoog, D.A., West, F.J.H. and Crouch, S.R. (2009) *Fundamentals of analytical chemistry*. Thomson Books, Cole.
- Suheyli, Y. and Huseyin, A. (2012). Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in Sakarya River, Turkey. *Journal of Geological Society of India*, 79: 89-93.
- Zhao, Z. and Cui, F. (2009). Multivariate statistical analysis for the surface water quality of the Luan River, China. *Journal of Zhejiang University Science A*, 10(1): 142-148.
- Zhou, F., Liu, Y. and Guo, H. (2007). Application of multivariate statistical methods to the water quality assessment of the watercourses in the Northwestern New Territories Hong Kong. *Environmental Monitoring and Assessment*, 132: 1-13.